



TUGAS AKHIR - SF 141501

**FABRIKASI DAN KARAKTERISASI
DIRECTIONAL COUPLER KONFIGURASI 3×3
SUSUNAN SEGITIGA BERBAHAN SERAT
OPTIK PLASTIK *STEP INDEX MULTIMODE*
TIPE FD-620-10**

NING ROSIANAH
NRP 1112 100 042

Dosen Pembimbing
Drs. Gontjang Prajitno, M.Si

Jurusan Fisika
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017



TUGAS AKHIR - SF 141501

**FABRIKASI DAN KARAKTERISASI
DIRECTIONAL COUPLER KONFIGURASI 3×3
SUSUNAN SEGITIGA BERBAHAN SERAT
OPTIK PLASTIK *STEP INDEX MULTIMODE*
TIPE FD-620-10**

NING ROSIANAH
NRP 1112 100 042

Dosen Pembimbing
Drs. Gontjang Prajitno, M.Si

Jurusan Fisika
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017



FINAL PROJECT - SF 141501

**FABRICATION AND CHARACTERIZATION
OF DIRECTIONAL COUPLER WITH 3×3
TRIANGLE CONFIGURATION MADE OF
PLASTIC OPTICAL FIBER MULTIMODE
STEP INDEX TYPE FD-620-10**

**NING ROSIANAH
NRP 1112 100 042**

**Advisor
Drs. Gontjang Prajitno, M.Si**

**Physics Department
Faculty of Mathematics and Natural Sciences
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya 2017**

**FABRIKASI DAN KARAKTERISASI *DIRECTIONAL*
COUPLER KONFIGURASI 3×3 SUSUNAN SEGITIGA
BERBAHAN SERAT OPTIK PLASTIK *STEP INDEX*
MULTIMODE TIPE FD-620-10**

TUGAS AKHIR

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh
Gelar Sarjana Sains
pada
Bidang Studi Optoelektronika
Program Studi S-1 Jurusan Fisika
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :
Ning Rosianah
NRP. 1112 100 042

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir :

Drs. Gontjang Prajitno, M.Si

SURABAYA, 25 JANUARI 2017




(.....)

FABRIKASI DAN KARAKTERISASI *DIRECTIONAL COUPLER* KONFIGURASI 3×3 SUSUNAN SEGITIGA BERBAHAN SERAT OPTIK PLASTIK *STEP INDEX MULTIMODE* TIPE FD-620-10

Nama : Ning Rosianah
NRP : 1112 100 042
Jurusan : Fisika FMIPA-ITS
Pembimbing : Drs. Gontjang Prajitno, M.Si

Abstrak

Dalam penelitian ini, telah dilakukan fabrikasi dan karakterisasi directional coupler konfigurasi 3×3 susunan segitiga berbahan serat optik plastik step index multimode tipe FD-620-10 dengan panjang kupasan 35 mm, 40 mm, 45 mm, 50 mm, 55 mm, dan 60 mm menggunakan pendekatan metode fused biconical tapered (FBT). Hasil karakterisasi directional coupler menggunakan BF5R-D1-N diperoleh bahwa panjang kupasan 45 mm dengan input pada port A1 menunjukkan nilai coupling ratio $CR = 0,6; 0,2; 0,2$ dan excess loss $Le = -7,76$ dB, pada port B1 menunjukkan nilai $CR = 0,2; 0,6; 0,2$ dan $Le = -6,76$ dB, pada port C1 menunjukkan nilai $CR = 0,2; 0,19; 0,61$ dan $Le = -6,75$ dB. Directional coupler ini paling baik digunakan sebagai piranti dalam sensor.

Kata kunci: *Directional coupler, fabrikasi, karakterisasi, segitiga.*

**FABRICATION AND CHARACTERIZATION OF
DIRECTIONAL COUPLER WITH 3×3 TRIANGLE
CONFIGURATION MADE OF PLASTIC OPTICAL FIBER
MULTIMODE STEP INDEX TYPE FD-620-10**

Name : Ning Rosianah
Identity Number : 1112 100 042
Department : Physics FMIPA-ITS
Advisor : Drs. Gontjang Prajitno, M.Si

Abstract

This research has been carried out the fabrication and characterization of directional coupler with 3×3 triangle configuration made of plastic optical fiber multimode step index type FD-620-10 with peeling length 35 mm, 40 mm, 45 mm, 50 mm, 55 mm, and 60 mm using fused biconical tapered (FBT) method. Characterization directional coupler using BF5R-D1-N showed that peeling length 45 mm with input on port A1 indicates that the value of coupling ratio $CR = 0.6; 0.2; 0.2$ and excess loss $Le = -7.76$ dB, on port B1 indicates that the value of $CR = 0.2; 0.6; 0.2$ and $Le = -6.76$ dB, on port C1 indicates that the value of $CR = 0.2; 0.19; 0.61$ and $Le = -6.75$ dB. This directional coupler is best used as a tool of sensor.

Keywords: *Characterization, directional coupler, fabrication, triangle.*

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, segala puji syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Laporan Tugas Akhir sebagai syarat wajib untuk memperoleh gelar sarjana pada Jurusan Fisika FMIPA ITS dengan judul:

“FABRIKASI DAN KARAKTERISASI *DIRECTIONAL COUPLER* KONFIGURASI 3×3 SUSUNAN SEGITIGA BERBAHAN SERAT OPTIK PLASTIK *STEP INDEX MULTIMODE* TIPE FD-620-10”

Penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada seluruh pihak atas bantuan, bimbingan dan dukungan yang telah diberikan kepada penulis dalam penyelesaian Tugas Akhir dan masa perkuliahan di Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Penulis dengan senang hati menyampaikan ucapan terima kasih khusus kepada:

1. Ayah, ibu, adik dan nenek tercinta atas segala do'a, motivasi, semangat dan dukungannya baik secara moral maupun spiritual terhadap keberhasilan penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir.
2. Kementerian Riset Teknologi dan Pendidikan Tinggi Republik Indonesia yang telah memberikan beasiswa Bidikmisi kepada penulis selama menyelesaikan studi S1 di Jurusan Fisika ITS.
3. Bapak Drs. Gontjang Prajitno, M.Si selaku dosen pembimbing Tugas Akhir yang dengan penuh kesabaran memberikan bimbingan, wawasan, pemantauan, dan motivasi sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan baik.

4. Bapak Dr. M. Zainuri, M.Si selaku dosen wali yang telah memberikan bimbingan, motivasi serta wawasan selama masa perkuliahan di Jurusan Fisika ITS.
5. Bapak Dr. Yono Hadi Pramono, M.Eng dan Bapak DR.rer.nat. Eko Minarto, M.Si selaku Ketua Jurusan dan Sekretaris Jurusan Fisika ITS.
6. Kepala Laboratorium Optoelektronika dan Elektromagnetika Terapan, Bapak Drs. Hasto Sunarno, M.Sc dan segenap staf laboran, Bapak Miftahul Ghofar yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir.
7. Seluruh staf pengajar dan karyawan di Jurusan Fisika ITS atas didikan, arahan dan motivasi kepada penulis.
8. Sahabat seperjuangan penelitian serat optik, Elis Nuraini dan Achmad Maulana yang selalu memberikan semangat, dukungan dan motivasi, serta saran dalam menyelesaikan Tugas Akhir.
9. Teman-teman Laboratorium Optoelektronika dan Elektromagnetika Terapan, Aloysius Niko dan Rachmad Januar atas arahan, motivasi, dan dukungan serta bantuannya.
10. Teman-teman asisten Fisika Laboratorium bidang Optoelektronika yang turut memberikan motivasi kepada penulis.
11. Keluarga besar Fisika ITS 2012 yang telah menjadi sahabat terbaik dan akan terus menjadi sahabat terbaik penulis. Terima kasih atas kehangatan persaudaraan yang telah diberikan sejak pertama kali berkuliah di Jurusan Fisika ITS.
12. Teman-teman MAN yang telah memberikan bantuan dan semangat kepada penulis.
13. Dan seluruh pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu, terima kasih.

Keterbatasan ilmu pengetahuan dan kemampuan penulis dalam penulisan Laporan Tugas Akhir memberikan banyak kekurangan. Penulis dengan senang hati menerima kritik dan saran

yang membangun demi kesempurnaan penulisan Laporan Tugas Akhir ini. Semoga Tugas Akhir ini bermanfaat bagi perkembangan ilmu pengetahuan serta memberikan inspirasi bagi pembaca untuk melakukan penelitian ini lebih lanjut.

Surabaya, 25 Januari 2017

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN JUDUL	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
ABSTRAK	iv
ABSTRACT	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
 BAB I. PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan Penelitian	3
1.5 Manfaat Penelitian	4
1.6 Sistematika Laporan	4
 BAB II. TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Serat Optik	5
2.2 Pantulan Dalam Total	7
2.3 <i>Numerical Aperture</i>	8
2.4 <i>Directional Coupler</i> Konfigurasi 3×3	10
 BAB III. METODOLOGI PENELITIAN	
3.1 Alat dan Bahan	15
3.2 Diagram Alir Penelitian	15
3.2.1 Tahap Fabrikasi <i>Directional Coupler</i>	16
3.2.2 Tahap Uji Kerataan	19
3.2.3 Tahap Penggandengan	21
3.2.4 Tahap Karakterisasi <i>Directional Coupler</i>	22

BAB IV. ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Fabrikasi <i>Directional Coupler</i>	25
4.2 Hasil Karakterisasi <i>Directional Coupler</i>	25
4.3 Pembahasan	33

BAB V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan	37
5.2 Saran	37

DAFTAR PUSTAKA	39
-----------------------	----

LAMPIRAN	41
-----------------	----

Biodata Penulis	61
------------------------	----

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Struktur Dasar Penyusun Serat Optik	5
Gambar 2.2	Struktur Serat Optik <i>Multimode Step Index</i> dan <i>Multimode Graded Index</i> Serta Profil Indeks Biasnya	6
Gambar 2.3	Pemantulan dan Pembiasan Berkas Cahaya pada Bidang Batas Dua Medium	8
Gambar 2.4	Mekanisme Perambatan Sinar pada Serat Optik <i>Step Index</i>	9
Gambar 2.5	<i>Directional Coupler</i> Konfigurasi 3×3 Segitiga	12
Gambar 3.1	Diagram Alir Penelitian	16
Gambar 3.2	Proses Pengupasan <i>Coating</i>	17
Gambar 3.3	Proses Pemolesan	18
Gambar 3.4	Hasil Kupasan Serat Optik	19
Gambar 3.5	Proses Uji Kerataan	19
Gambar 3.6	Panjang Kupasan 45 mm <i>Port A</i>	20
Gambar 3.7	Panjang Kupasan 45 mm <i>Port A</i> dengan Disinari Laser	21
Gambar 3.8	Tahap Penggandengan <i>Directional Coupler</i>	22
Gambar 3.9	<i>Set Up</i> Alat pada Proses Karakterisasi Menggunakan BF5R-D1-N pada <i>Directional Coupler</i>	24
Gambar 4.1	Hasil Fabrikasi <i>Directional Coupler</i> Konfigurasi 3×3 Susunan Segitiga	25
Gambar 4.2	Grafik Pengaruh Panjang Kupasan Terhadap Prosentase Intensitas Cahaya pada Tiap <i>Output</i> dengan <i>Port A1</i> Sebagai Sinyal <i>Input</i>	29
Gambar 4.3	Grafik Pengaruh Panjang Kupasan Terhadap Prosentase Intensitas Cahaya pada Tiap <i>Output</i> dengan <i>Port B1</i> Sebagai Sinyal <i>Input</i>	29
Gambar 4.4	Grafik Pengaruh Panjang Kupasan Terhadap Prosentase Intensitas Cahaya pada Tiap <i>Output</i> dengan <i>Port C1</i> Sebagai Sinyal <i>Input</i>	30

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1	Spesifikasi BF5R-D1-N	23
Tabel 4.1	Data Hasil Karakterisasi <i>Directional Coupler</i> dengan Sinyal <i>Input</i> pada <i>Port A1</i>	26
Tabel 4.2	Data Hasil Karakterisasi <i>Directional Coupler</i> dengan Sinyal <i>Input</i> pada <i>Port B1</i>	26
Tabel 4.3	Data Hasil Karakterisasi <i>Directional Coupler</i> dengan Sinyal <i>Input</i> pada <i>Port C1</i>	27
Tabel 4.4	Prosentase <i>Output Directional Coupler</i> dengan Sinyal <i>Input</i> pada <i>Port A1</i>	27
Tabel 4.5	Prosentase <i>Output Directional Coupler</i> dengan Sinyal <i>Input</i> pada <i>Port B1</i>	28
Tabel 4.6	Prosentase <i>Output Directional Coupler</i> dengan Sinyal <i>Input</i> pada <i>Port C1</i>	28
Tabel 4.7	Karakteristik <i>Directional Coupler</i> dengan Panjang Kupasan 35 mm	30
Tabel 4.8	Karakteristik <i>Directional Coupler</i> dengan Panjang Kupasan 40 mm	31
Tabel 4.9	Karakteristik <i>Directional Coupler</i> dengan Panjang Kupasan 45 mm	31
Tabel 4.10	Karakteristik <i>Directional Coupler</i> dengan Panjang Kupasan 50 mm	32
Tabel 4.11	Karakteristik <i>Directional Coupler</i> dengan Panjang Kupasan 55 mm	32
Tabel 4.12	Karakteristik <i>Directional Coupler</i> dengan Panjang Kupasan 60 mm	33

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran A	Data Hasil Karakterisasi <i>Directional Coupler</i> Konfigurasi 3×3 Susunan Segitiga Menggunakan BF5R-D1-N	41
Lampiran B	<i>Datasheet</i> Serat Optik Plastik Tipe FD-620-10	59

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Serat optik merupakan media transmisi atau pandu gelombang cahaya berbentuk silinder yang dikembangkan di akhir tahun 1960-an dalam sistem komunikasi yang semakin lama membutuhkan *bandwidth* yang besar dengan laju transmisi yang tinggi (Samian, 2008). Selain digunakan sebagai sistem komunikasi, serat optik dimanfaatkan sebagai sensor untuk mengukur berbagai parameter seperti temperatur, pergeseran, kelembaban, tekanan, serta konsentrasi suatu larutan. Keunggulan serat optik sebagai sensor di antaranya tidak kontak langsung dengan obyek pengukuran, tidak menggunakan arus listrik, akurasi pengukuran tinggi, tidak terpengaruh oleh medan listrik maupun medan magnet, dapat dimonitor pada jarak jauh, dapat dihubungkan dengan sistem komunikasi data *interface*, serta dimensinya kecil dan ringan (Pramono, 2008).

Dalam perkembangannya, serat optik tidak hanya berfungsi untuk mentransmisikan informasi tetapi juga berkembang menjadi piranti optik dengan fungsi yang lebih luas. Piranti optik tersebut dapat berbentuk *coupler* dengan berbagai macam variasinya. *Coupler* merupakan piranti optik pasif yang berfungsi sebagai penggabung dua atau lebih panjang gelombang atau sinyal menjadi dua atau lebih. *Directional coupler* termasuk *coupler* yang paling dikembangkan. Terdapat beberapa metode pembuatan *directional coupler* berbahan serat optik plastik, di antaranya metode *fused biconical tapered (FBT)*, yaitu dengan menggabungkan sejumlah serat optik pada panjang kopling tertentu sehingga menjadi *directional coupler* dengan N-port (Sekartedjo dkk, 2007).

Fabrikasi *directional coupler* konfigurasi 2×2 telah banyak dilakukan oleh peneliti-peneliti sebelumnya. Di antaranya fabrikasi *directional coupler* dan *double coupler* dengan bahan serat optik plastik *step index multimode* tipe FD-620-10

(950/1000 μm) yang mudah diperoleh di pasaran dengan metode *fused biconical tapered (FBT)*. Dihasilkan *directional coupler* dan *double coupler* yang memenuhi standar fabrikasi, yaitu dengan nilai *coupling ratio* 0,491 pada *directional coupler* dan 0,492 pada *double coupler* dengan panjang interaksi kopling antar serat optik 34 mm (Rahayu, 2013).

Penelitian mengenai fabrikasi *directional coupler* konfigurasi 3×3 telah banyak dilakukan oleh peneliti-peneliti luar negeri. Sementara di Indonesia masih jarang dilakukan. Adapun penelitian mengenai *directional coupler* di Indonesia yaitu fabrikasi *directional coupler* serat optik plastik *step index multimode* tipe FD-620-10 (950/1000 μm) susunan planar dengan metode *fused biconical tapered (FBT)*. Dihasilkan *directional coupler* dengan *coupling ratio* yang paling baik sebesar 0,345 pada panjang interaksi kopling antar serat optik 60 mm (Yaqin, 2015). Terdapat dua cara penyusunan *directional coupler* konfigurasi 3×3 , yaitu susunan planar dan segitiga. Pada *directional coupler* konfigurasi 3×3 susunan planar, daya terbagi dengan rata ketika *input* berasal dari *port* yang berada di tengah. Sedangkan apabila *input* berasal dari *port* yang berada di tepi, maka daya kurang terbagi dengan rata. Hal ini dikarenakan besarnya jarak antar tepi *coupler*, sehingga daya kurang menjangkau ke tepi yang lain. Oleh karena itu, perlu dilakukan fabrikasi *directional coupler* konfigurasi 3×3 dengan susunan yang lebih baik, yang mana diharapkan mampu membagi daya dengan rata.

Dalam penelitian ini, *directional coupler* konfigurasi 3×3 difabrikasi dengan susunan segitiga menggunakan serat optik plastik *step index multimode* tipe FD-620-10 dengan pendekatan metode *fused biconical tapered (FBT)* pada variasi panjang kupasan 35 mm, 40 mm, 45 mm, 50 mm, 55 mm, dan 60 mm.

1.2 Rumusan Masalah

Permasalahan yang dibahas dalam penelitian Tugas Akhir ini adalah:

1. Bagaimana fabrikasi *directional coupler* konfigurasi 3×3 susunan segitiga.
2. Bagaimana hasil karakterisasi *directional coupler* konfigurasi 3×3 susunan segitiga.

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian ini antara lain:

1. Fabrikasi *directional coupler* konfigurasi 3×3 susunan segitiga berbahan serat optik plastik *step index multimode* tipe FD-620-10 dengan panjang kupasan 35 mm, 40 mm, 45 mm, 50 mm, 55 mm, dan 60 mm menggunakan pendekatan metode *fused biconical tapered (FBT)* dengan pengikatan menggunakan benang jahit.
2. Karakterisasi *directional coupler* konfigurasi 3×3 susunan segitiga menggunakan BF5R-D1-N buatan *autonics* yang merupakan sensor khusus untuk menganalisis daya keluaran yang diterima oleh serat optik. Sumber yang digunakan adalah *digital indicating type fiber optic sensor* (BF5R-D1-N) yang disambungkan pada *power supply*. Sensor ini memiliki lubang masukan berupa cahaya merah (660 nm) dan lubang keluaran berupa *photodetector* yang dapat mengetahui intensitas keluaran pada kelima *port* sehingga diperoleh parameter-parameter *coupling ratio (CR)* dan *excess loss (Le)*.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan yang hendak dicapai dalam penelitian Tugas Akhir ini adalah:

1. Memfabrikasi *directional coupler* konfigurasi 3×3 susunan segitiga.
2. Mengetahui hasil karakterisasi *directional coupler* konfigurasi 3×3 susunan segitiga.

1.5 Manfaat Penelitian

Hasil dari penelitian Tugas Akhir fabrikasi dan karakterisasi *directional coupler* konfigurasi 3×3 susunan segitiga dapat dimanfaatkan sebagai piranti sensor untuk mengukur beberapa parameter, pembagi berkas (*beam splitter*), pembagi daya (*power divider*), dan piranti optik lainnya yang menggunakan *directional coupler* konfigurasi 3×3 .

1.6 Sistematika Laporan

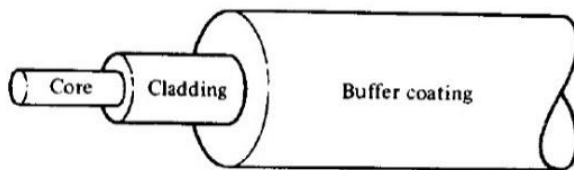
Sistematika Laporan Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Bab I Pendahuluan, berisi latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, dan sistematika laporan.
2. Bab II Tinjauan Pustaka, berisi teori yang menunjang penelitian dan analisis.
3. Bab III Metodologi Penelitian, berisi peralatan dan bahan yang digunakan dalam penelitian serta uraian lengkap tahapan penelitian.
4. Bab IV Analisa Data dan Pembahasan, berisi data hasil fabrikasi dan karakterisasi yang dilakukan serta analisis dan pembahasan.
5. Bab V Kesimpulan dan Saran, berisi kesimpulan dari penelitian dan saran untuk penelitian lebih lanjut.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Serat Optik

Serat optik merupakan dielektrik yang berfungsi memandu gelombang sebagai media transmisi gelombang cahaya yang berbentuk silinder dan biasanya terbuat dari bahan plastik atau silica. Pada umumnya, serat optik terdiri dari tiga bagian yaitu inti (*core*), kulit (*cladding*), dan jaket (*coating*). Struktur penyusun serat optik ini masing-masing memiliki karakteristik. Bagian *core* merupakan jalur utama pemanduan gelombang cahaya yang mempunyai indeks bias terbesar n_1 . Lapisan selanjutnya yaitu *cladding* mempunyai indeks bias n_2 yang nilainya sedikit lebih rendah daripada n_1 . Serta bagian terluar dari serat optik yaitu *coating* berfungsi sebagai pelindung bagian di dalamnya, struktur dasar penyusun serat optik diperlihatkan pada Gambar 2.1 (Keiser, 1991).

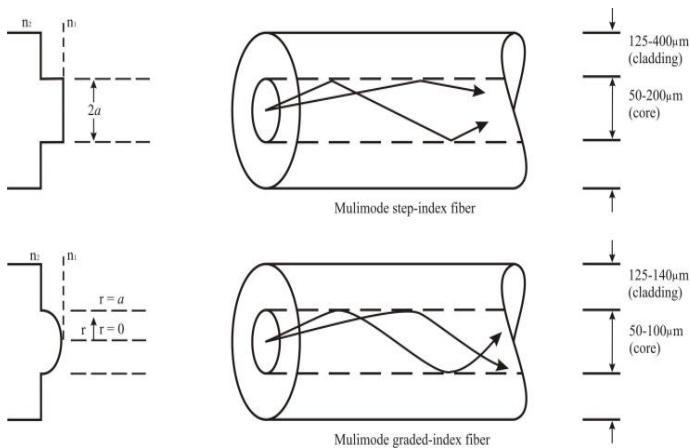


Gambar 2.1 Struktur Dasar Penyusun Serat Optik (Keiser, 1991)

Serat optik terbagi menjadi beberapa jenis antara lain berdasarkan struktur dan sifat transmisinya serta berdasarkan penjaralan gelombang yang melalui inti. Berdasarkan struktur dan sifat transmisinya, serat optik dapat diklasifikasikan menjadi dua yaitu serat optik moda tunggal (*singlemode*) dan serat optik moda jamak (*multimode*) (Keiser, 1991). Pada serat optik moda tunggal, ukuran inti kecil sehingga pada serat hanya dapat menjalar satu moda. Sedangkan pada serat optik moda jamak, ukuran inti lebih

besar sehingga moda yang menjalar lebih dari satu. Skala ukuran dari serat optik moda tunggal adalah mikrometer, sedangkan serat optik moda jamak adalah milimeter (Crisp dan Elliott, 2005).

Berdasarkan penjalaran gelombang yang melalui inti, serat optik terbagi menjadi dua macam, yaitu serat optik *step index* dan serat optik *graded index*. Serat optik *step index* merupakan serat optik yang memiliki *core* dengan indeks bias homogen dan terjadi perubahan indeks bias secara tak tentu antara *core* dan *cladding*. Sedangkan pada serat optik *graded index*, *core* memiliki indeks bias paling besar, semakin ke arah *cladding* maka semakin kecil. Pada dasarnya cahaya disebarkan melalui *core* dengan cara pemantulan dalam total (Leno dan Frank, 1993). Perbandingan struktur serat optik *step index multimode* dan *graded index multimode* serta distribusi index bias diperlihatkan pada Gambar 2.2 (Keiser, 1984).



Gambar 2.2 Struktur Serat Optik *Multimode Step Index* dan *Multimode Graded Index* Serta Profil Indeks Biasnya (Keiser, 1984)

2.2 Pantulan Dalam Total

Indeks bias medium dielektrik pada serat optik mempengaruhi laju penjaralan cahaya di dalamnya. Perbedaan indeks bias pada medium dielektrik memunculkan adanya medium rapat dan renggang. Kecepatan cahaya yang merambat di dalam medium yang rapat lebih rendah daripada di dalam medium yang renggang (Widodo, 1995). Indeks bias medium n didapatkan dari persamaan berikut:

$$n = \frac{c}{v} \quad (2.1)$$

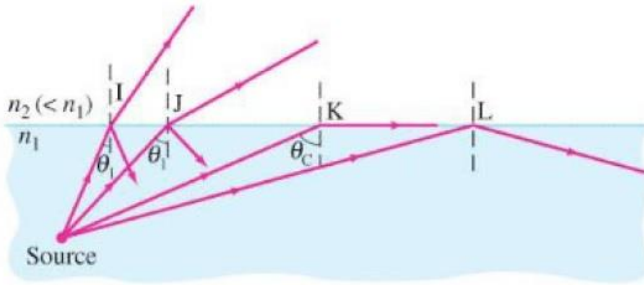
dimana c adalah kecepatan cahaya di ruang hampa (3×10^8 m/s) dan v adalah kecepatan cahaya di dalam medium. Nilai n selalu lebih besar dari 1. Syarat terjadinya pemantulan dalam total adalah indeks bias medium sinar datang (*core*) harus lebih besar daripada indeks bias medium sinar bias (*cladding*). Transmisi gelombang melalui bidang batas dua medium dielektrik yang berbeda berlaku Hukum Snellius dan secara matematis dapat dituliskan sebagai:

$$n_1 \sin \theta_i = n_2 \sin \theta_t \quad (2.2)$$

dimana θ_i adalah sudut datang dan θ_t adalah sudut bias. Dari hubungan ini, θ_t mencapai 90° ketika θ_i mencapai nilai:

$$\theta_i = \theta_c = \sin^{-1} \left(\frac{n_2}{n_1} \right) \quad (2.3)$$

dimana θ_c disebut sudut kritis sinar datang. Sinar datang dengan sudut yang sama atau lebih besar dari sudut kritis akan dipantulkan kembali ke medium 1. Inilah prinsip pantulan dalam total yang memandu cahaya di dalam serat optik tanpa rugi daya. Sedangkan cahaya dengan sudut datang di bawah sudut kritis, sebagian dibiaskan dan sebagian dipantulkan, rugi daya disebabkan oleh berkas sinar yang dibiaskan (Power, 1997).



Gambar 2.3 Pemantulan dan Pembiasan Berkas Cahaya pada Bidang Batas Dua Medium (Power, 1997)

2.3 Numerical Aperture

Syarat agar sinar dapat terpandu di dalam *core* serat optik, perlu diperhatikan sudut sinar masukan maksimum agar dihasilkan sinar yang membentuk sudut kritis. Sehingga Hukum Snellius juga diterapkan pada bidang batas antara udara dan *core* sebagai berikut:

$$n \sin \theta_{0,max} = n_1 \sin \theta \quad (2.4)$$

karena $\theta = \frac{\pi}{2} - \theta_c$, maka Persamaan (2.4) menjadi:

$$n \sin \theta_{0,max} = n_1 \cos \theta_c \quad (2.5)$$

dengan menggunakan relasi trigonometri $\sin^2 \theta_c + \cos^2 \theta_c = 1$, Persamaan (2.5) dapat ditulis sebagai:

$$n \sin \theta_{0,max} = n_1 \sqrt{1 - \sin^2 \theta_c} \quad (2.6)$$

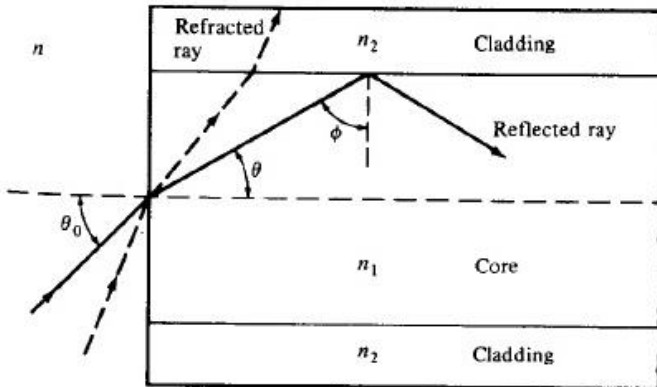
Substitusi Persamaan (2.3) ke Persamaan (2.6), didapatkan:

$$n \sin \theta_{0,max} = n_1 \sqrt{1 - \frac{n_2^2}{n_1^2}} \quad (2.7)$$

$$n \sin \theta_{0,max} = n_1 \sqrt{n_1^2 - n_2^2} \quad (2.8)$$

Maka sinar yang memiliki sudut masukan θ_0 lebih kecil dari $\theta_{0,max}$ akan dipantulkan seluruhnya pada bidang antarmuka *core-cladding*. Persamaan (2.8) juga didefinisikan sebagai tingkap numerik atau *numerical aperture (NA)* yang menyatakan hubungan sudut sinar masukan dengan indeks bias ketiga medium (udara, *core*, dan *cladding*) (Keiser, 1991).

$$NA = n \sin \theta_{0,max} = \sqrt{n_1^2 - n_2^2} \quad (2.9)$$



Gambar 2.4 Mekanisme Perambatan Sinar pada Serat Optik *Step Index* (Keiser, 1991)

Perbedaan indeks bias antara *core* dan *cladding* (Δ) didefinisikan sebagai fraksi indeks bias yang dapat dituliskan seperti pada Persamaan (2.1). Selisih nilai n_1 dan n_2 sangat kecil, sehingga nilai Δ juga kecil. Untuk nilai $\Delta < 1$, disebut desain pandu gelombang yang terpandu lemah (Power, 1997). Nilai Δ untuk serat optik *multimode* berkisar pada rentang 1% hingga 3%, sedangkan untuk serat optik *singlemode* berkisar pada rentang 0,2% hingga

1% (Keiser, 1991). Dengan demikian, Persamaan (2.9) juga dapat dinyatakan dengan:

$$\Delta = \frac{n_1^2 - n_2^2}{2n_1^2} \approx \frac{n_1 - n_2}{n_1} \quad (2.10)$$

$$NA = n_1 \sqrt{2\Delta} \quad (2.11)$$

Nilai NA pada serat optik *step index* berkisar pada rentang 0,2 hingga 0,5 sedangkan pada serat optik *graded index* berada sekitar 0,2 (Hoss, 1993). Untuk serat optik *step index multimode* dari bahan plastik berdiameter *core* besar, nilai NA berkisar pada rentang 0,3-0,5 (Krohn, 2000).

2.4 Directional Coupler Konfigurasi 3×3

Untuk memahami sifat-sifat umum *directional coupler* konfigurasi 3×3, dimulai dari persamaan moda terkopel sebagai berikut:

$$\frac{dA}{dz} = j\beta_1 A + J\kappa_{21}B + J\kappa_{31}C, \quad (2.12.a)$$

$$\frac{dB}{dz} = j\beta_2 B + J\kappa_{32}C + J\kappa_{12}A, \quad (2.12.b)$$

$$\frac{dC}{dz} = j\beta_3 C + J\kappa_{13}A + J\kappa_{23}B, \quad (2.12.c)$$

dimana A, B, dan C adalah amplitudo medan optik dengan masing-masing tetapan propagasinya $\beta_1, \beta_2, \beta_3$. Sedangkan κ_{ij} adalah koefisien kopling. Dalam kasus pandu gelombang tanpa rugi daya, berlaku kekekalan energi, $AA^* + BB^* + CC^* = \text{Konstan}$, berdasarkan hubungan $\kappa_{12} = \kappa_{21}^*$, $\kappa_{23} = \kappa_{32}^*$, dan $\kappa_{31} = \kappa_{13}^*$. Kebanyakan *coupler* 3×3 dalam praktiknya terbuat dari 3 buah serat optik yang identik dengan indeks bias efektif n_{eff} sama. Sehingga persamaan kopling disederhanakan menjadi:

$$\frac{d}{dz} \begin{pmatrix} A \\ B \\ C \end{pmatrix} = j \begin{pmatrix} \beta & \kappa_{12}^* & \kappa_{31} \\ \kappa_{12} & \beta & \kappa_{23}^* \\ \kappa_{31}^* & \kappa_{23} & \beta \end{pmatrix} \begin{pmatrix} A \\ B \\ C \end{pmatrix} \quad (2.13)$$

Persamaan tersebut dapat diselesaikan dengan solusi percobaan dalam bentuk $\propto \exp(j\gamma z)$ dengan konstanta propagasi gabungan γ , yang ditentukan dari persamaan nilai eigen:

$$\begin{pmatrix} \beta - \gamma & \kappa_{12}^* & \kappa_{31} \\ \kappa_{12} & \beta - \gamma & \kappa_{23}^* \\ \kappa_{31}^* & \kappa_{23} & \beta - \gamma \end{pmatrix} \begin{pmatrix} A \\ B \\ C \end{pmatrix} = 0 \quad (2.14)$$

Untuk memastikan agar solusi tidak bernilai nol, maka determinannya harus sama dengan nol, sehingga menghasilkan persamaan:

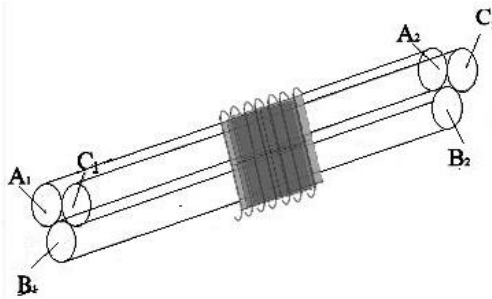
$$x^3 - 3p^2x - 2q^3 = 0 \quad (2.15)$$

dimana $x = \gamma - \beta$, $3p^2 = |\kappa_{12}|^2 + |\kappa_{23}|^2 + |\kappa_{31}|^2$, dan $2q^3 = \kappa_{12}^* \kappa_{23} \kappa_{31}^* + \kappa_{12} \kappa_{23}^* \kappa_{31}$. Bentuk terakhir juga dapat ditulis $2q^3 = 2|\kappa_{12} \kappa_{23} \kappa_{31}| \cos(\phi_1 + \phi_2 + \phi_3)$ dengan fase ϕ_i masing-masing koefisien kopling dalam bentuk kompleks. Solusi yang diperoleh yaitu:

$$\gamma_n = \beta - 2p \cos \left[\frac{2(n-1)\pi}{3} + \frac{\theta}{3} \right] \quad (n = 1, 2, 3) \quad (2.16)$$

dengan $\theta = \cos^{-1}(-q^3/p^3)$. Karakteristik transmisi diberikan jika koefisien kopling diketahui (Fang, 2012).

Coupler 3×3 lebih rumit daripada *coupler* 2×2 karena terdapat lebih banyak parameter geometri dan parameter fisis yang mempengaruhi karakteristiknya. Pada proses fabrikasi *coupler* 3×3, terdapat dua tipe struktur yang sering digunakan, yaitu konfigurasi segitiga dan konfigurasi planar.



Gambar 2.5 *Directional Coupler* Konfigurasi 3×3 Susunan Segitiga

Parameter-parameter pokok dalam piranti *directional coupler* antara lain:

1. *Splitting ratio* atau *coupling ratio* (CR), yaitu proporsi daya masukan pada masing-masing keluaran. Jika daya masukan diberikan pada *port* A1, nilai CR diperoleh dari saluran keluaran, yaitu *port* A2, B2, dan C2 dengan menggunakan persamaan:

$$CR = \frac{P_{A2}}{(P_{A2} + P_{B2} + P_{C2})} \quad (2.17)$$

2. *Insertion loss* (L_{ins}) atau *port-to-port loss*, yaitu rugi sisipan yang terjadi karena daya dari saluran masukan *coupler* serat optik terdistribusi di antara saluran keluaran. *Insertion loss* diukur sebagai perbandingan daya keluaran tunggal terhadap daya masukannya.

$$L_{ins} = 10 \log \left(\frac{P_{port\ keluaran}}{P_{port\ masukan}} \right) dB \quad (2.18)$$

Sebagai contoh, *insertion loss* pada *port* A2 adalah:

$$L_{ins} = 10 \log \left(\frac{P_{A2}}{P_{A1}} \right) dB$$

Selanjutnya rumus ini menunjukkan *insertion loss* pada *port* A2 atau *port-to-port loss* antara *port* A1 ke *port* A2.

3. *Excess loss* (L_e) adalah rugi daya total. Jika 10 mW masuk ke dalam perangkat dan hanya 9 mW yang keluar, maka yang 1 mW dinyatakan sebagai rugi daya. Energi cahaya terhambur dan diserap di dalam *coupler* dan tidak didapatkan di saluran keluaran. Pada kasus *coupler* 3×3, daya keluaran merupakan penjumlahan dari *port* A2, B2, dan C2, sedangkan daya masukan pada *port* A1. Sehingga *excess loss* dinyatakan sebagai:

$$L_e = 10 \log \left(\frac{\sum P_j}{P_i} \right) dB = 10 \log \left(\frac{P_{A2} + P_{B2} + P_{C2}}{P_{A1}} \right) dB \quad (2.19)$$

Dengan P_j adalah daya keluaran dan P_i adalah daya masukan.

4. Direktivitas (*directivity*) atau *crosstalk*. Ketika daya masukan diberikan pada *port* A1 maka daya keluaran akan terdeteksi pada *port* A2, B2, dan C2, bukan pada *port* B1 dan C1 yang merupakan *port* masukan lainnya. Oleh karena hamburan balik di dalam *coupler*, beberapa energi dipantulkan balik dan terdeteksi di *port* B1 dan C1. Hamburan balik ini sangat sedikit dan disebut direktivitas (*directivity*) atau *crosstalk*. Direktivitas dari *coupler* diukur antar *port-port* masukan *directional coupler* (Crisp, 2001).

$$D = C_t = 10 \log \frac{P_{B1}}{P_{A1}} dB = 10 \log \frac{P_{C1}}{P_{A1}} dB \quad (2.20)$$

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Alat dan Bahan

Peralatan yang digunakan dalam penelitian Tugas Akhir ini antara lain:

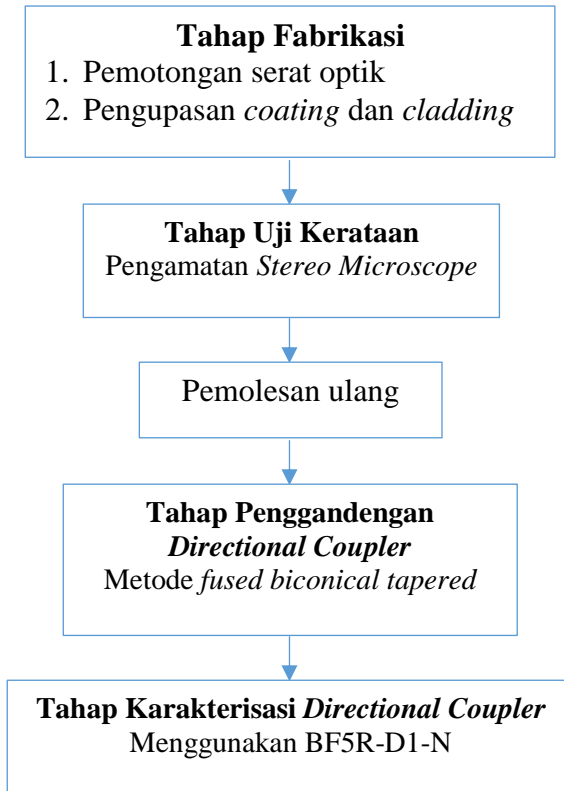
1. BF5R-D1-N
2. *DIN rail*
3. Selotip
4. Pemotong serat optik
5. Gunting
6. *Cutter*
7. Alat pemoles
8. Klip binder
9. *Power supply*
10. Kabel jepit buaya
11. Penggaris

Adapun bahan yang digunakan dalam penelitian Tugas Akhir ini antara lain:

1. Serat optik plastik *step index multimode* tipe FD-620-10
2. Alkohol 70%
3. Ampelas (*mesh* 360, 1200, 1500, 2000)
4. Benang jahit

3.2 Diagram Alir Penelitian

Adapun diagram alir penelitian Tugas Akhir ini dapat dilihat pada Gambar 3.1 sebagai berikut:



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

3.2.1 Tahap Fabrikasi *Directional Coupler*

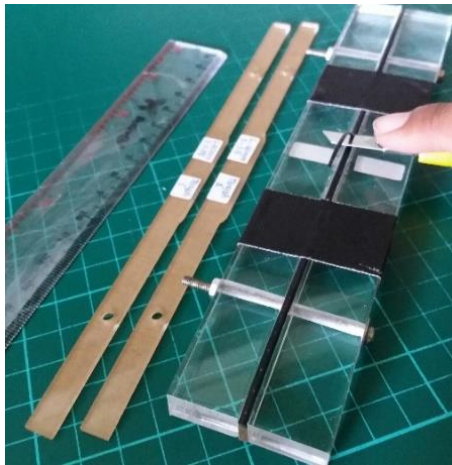
Prosedur fabrikasi *directional coupler* mengikuti langkah-langkah sebagai berikut:

1. Pemotongan serat optik

Serat optik dipotong menggunakan alat pemotong sepanjang 20 cm sebanyak tiga buah. Untuk memudahkan identifikasi, ketiga serat optik tersebut diberi label A, B, dan C.

2. Pengupasan *coating* dan *cladding*

Dengan bantuan alat pengupas, serat optik yang akan dikupas ditempatkan di tengah-tengah bagian alat tersebut pada keadaan lurus dan sejajar, kemudian ditempelkan selotip pada kedua ujung agar tidak geser. Selanjutnya serat optik dikupas dengan panjang kupasan 35 mm, 40 mm, 45 mm, 50 mm, 55 mm, dan 60 mm menggunakan *cutter* yang tajam.



Gambar 3.2 Proses Pengupasan *Coating*

Secara umum, pengupasan dilakukan dengan mengupas bagian *coating* dan *cladding* yang menyisakan bagian *core*. Sehingga, pada saat dilakukan penggandengan, bagian yang dikupas dapat berinteraksi satu sama lain. Serat optik dikupas seluruh sisinya hingga menyisakan bagian *core* saja dengan panjang kupasan sesuai variasi panjang *coupling*. Daerah panjang *coupling* yang dikupas awalnya dikupas hingga pada bagian *cladding*. Setelah itu tahapan pengupasan untuk menyisakan hanya *core* saja akan dilakukan dengan tahapan pemolesan dengan tujuan untuk meminimalkan kerusakan struktur pada daerah *core*. Pada tahap pemolesan, serat optik diletakkan pada alat

pemoles. Seperti pada tahap pengupasan *coating*, serat optik harus pada keadaan lurus dan sejajar. Kemudian dengan menggunakan ampelas, serat optik digosok searah. Ampelas yang digunakan yaitu dengan *mesh* 360, 1200, 1500, dan 2000. Hal ini dilakukan agar seluruh serat optik yang dipoles mempunyai permukaan yang rata dan ketebalan yang sama. Selanjutnya setiap bagian yang dipoles dibersihkan menggunakan alkohol 70% dan dikeringkan.



Gambar 3.3 Proses Pemolesan

Gambar 3.3 menunjukkan proses pemolesan yang dilakukan pada bagian serat optik yang telah dikupas. Hasil dari kupasan dan pemolesan tidak dapat dilihat dengan jelas oleh mata manusia, sehingga perlu dilakukan pengamatan khusus dengan menggunakan perbesaran tertentu sehingga diperoleh hasil yang lebih jelas mengenai permukaan kupasan dan pemolesan yang telah dilakukan.



Gambar 3.4 Hasil Kupasan Serat Optik

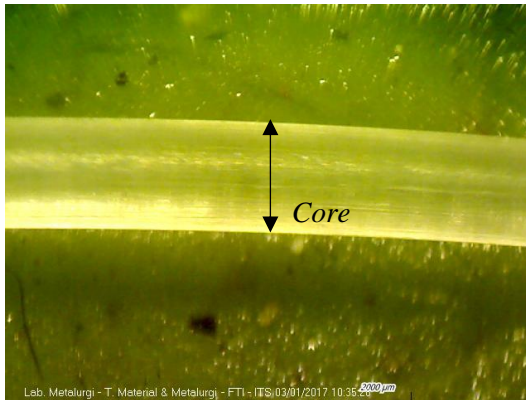
3.2.2 Tahap Uji Kerataan

Pada tahap ini, serat optik yang telah dikupas dan dipoles diuji kerataannya untuk mengetahui hasil dari pengupasan dan pemolesan yang telah dilakukan. Uji kerataan dilakukan dengan cara melihat bagian kupasan serat optik pada setiap *port* dan seluruh variasi panjang kupasan. Pengujian dilakukan dengan menggunakan *Stereo Microscope #3 – Carl Zeiss Stemi DV4* di Laboratorium Metal Jurusan Teknik Material dan Metalurgi ITS.



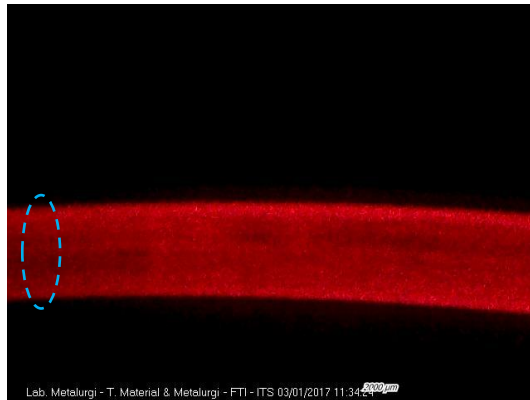
Gambar 3.5 Proses Uji Kerataan

Gambar 3.5 menunjukkan proses uji kerataan dimana serat optik diamati dengan menggunakan *stereo microscope* yang telah disambungkan dengan komputer untuk menampilkan hasil dari bagian kupasan serat optik. Berikut adalah contoh dari hasil pengamatan oleh *stereo microscope*.



Gambar 3.6 Panjang Kupasan 45 mm *Port A*

Gambar 3.6 memperlihatkan hasil pengamatan oleh *stereo microscope* yang tidak diberikan sinar laser pada serat optik, belum dapat diketahui dengan jelas kerataan dari kupasan yang telah dilakukan. Gambar diambil pada bagian penampang serat optik yang telah dikupas. Struktur serat optik yang dapat dilihat yaitu bagian *core*. Pengambilan gambar dilakukan dengan menggunakan perbesaran 2000 μm . Perbesaran diberikan untuk memperjelas bagian-bagian dari serat optik yang diamati.



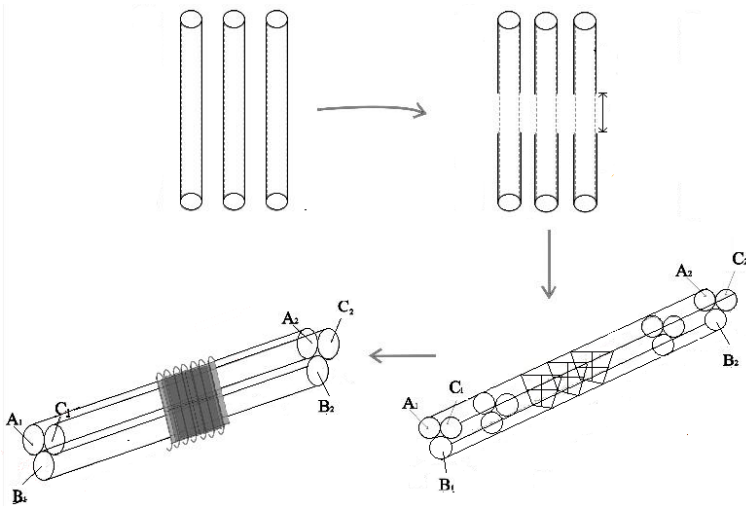
Gambar 3.7 Panjang Kupasan 45 mm *Port A* dengan Disinari Laser

Agar dapat diketahui bagian yang belum terkupas secara sempurna, maka dilakukan penyinaran pada serat optik dengan menggunakan laser. Pada Gambar 3.7, bagian yang masih terlihat gelap menandakan bahwa sinar laser belum terhambur keluar. Oleh sebab itu, pada bagian tersebut dilakukan pemolesan ulang dengan menggunakan ampelas dimulai dengan *mesh* yang lebih halus daripada tahap pemolesan pertama. Setelah dilakukan pemolesan tahap kedua pada kupasan serat optik tersebut, jika dinilai sudah cukup sempurna, maka serat optik dibersihkan dengan menggunakan alkohol 70% dan siap untuk dilakukan tahap penggandengan.

3.2.3 Tahap Penggandengan

Tahap ini merupakan tahapan terakhir pembuatan *directional coupler*. Penggandengan dilakukan dengan cara menggandeng ketiga serat optik pada bagian yang telah dikupas dengan cara diikat menggunakan benang jahit. Untuk memudahkan proses penggandengan digunakan klip binder untuk menjepit ketiga serat optik tersebut agar tidak geser. Kopling yang telah dijepit dengan klip binder dililitkan benang jahit sesuai panjang kupasan agar celah yang dihasilkan berkurang. Pada tahap

ini harus dilakukan dengan perlahan dan diusahakan ketiga bagian serat optik yang telah dipoles benar-benar *matching* agar dihasilkan penggandengan yang baik. Tahap penggandengan dan proses penggandengan dapat dilihat pada Gambar 3.8.



Gambar 3.8 Tahap Penggandengan *Directional Coupler*

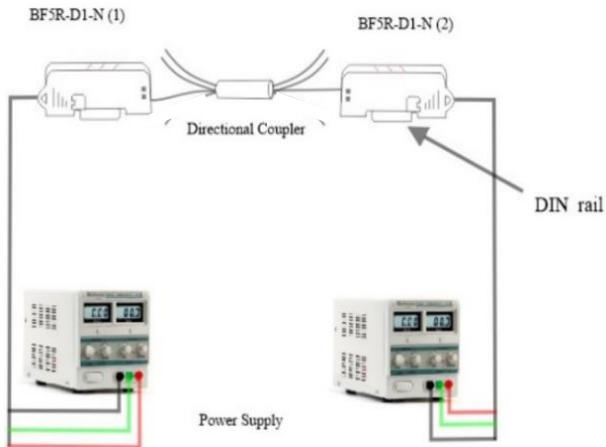
3.2.4 Tahap Karakterisasi *Directional Coupler*

Karakterisasi *directional coupler* hasil fabrikasi menggunakan BF5R-D1-N. Karakterisasi ini bertujuan untuk memperoleh nilai *coupling ratio* (CR) dan *excess loss* (Le). Skema alat BF5R-D1-N diperlihatkan pada Gambar 3.9. Sensor ini merupakan sensor khusus untuk menganalisis daya keluaran yang diterima oleh serat optik. Pada karakterisasi ini digunakan dua buah BF5R-D1-N, yang pertama sebagai sumber cahaya dan yang kedua sebagai *photodetector*. Spesifikasi BF5R-D1-N diperlihatkan pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Spesifikasi BF5R-D1-N

Type	BF5R-D1-N
Source	LED Merah (660 nm)
Power Supply	12-24 Volt DC \pm 10%
Arus maksimum	50 mA
Waktu respon	500 μ s (<i>standart</i>)
Output	P_{in} (<i>level light</i>) 0-4000

Set up alat untuk karakterisasi menggunakan BF5R-D1-N ditunjukkan pada Gambar 3.9. Kedua BF5R-D1-N diletakkan di atas *DIN rail* agar dapat berdiri tegak dan sejajar. Sumber tegangan DC dari *power supply* yang digunakan pada kedua BF5R-D1-N adalah sebesar 14,1 Volt, nilai ini berada di rentang tegangan kerja BF5R-D1-N yaitu 12-24 Volt DC. Untuk mengetahui karakteristik dari *directional coupler* yang telah difabrikasi, dilakukan pengukuran menggunakan BF5R-D1-N pada masing-masing *port* keluaran sebanyak 20 kali pengulangan. Untuk setiap panjang kupasan, BF5R-D1-N yang digunakan sebagai sumber cahaya dipasang pada *port* masukan A1, B1, dan C1 secara bergantian. Sementara BF5R-D1-N yang digunakan sebagai detektor dipasang pada *port* keluaran A2, B2, dan C2 untuk mendeteksi cahaya yang diteruskan serta pada *port* A1, B1, dan C1 untuk mendeteksi cahaya yang balik.



Gambar 3.9 *Set Up* Alat pada Proses Karakterisasi Menggunakan BF5R-D1-N pada *Directional Coupler*

Pada proses karakterisasi ini akan diperoleh data berupa besar intensitas sinar yang masuk pada serat optik dan besar intensitas sinar pada masing-masing *port* keluaran. Selanjutnya dapat dihitung parameter-parameter *directional coupler*, yaitu *coupling ratio* (*CR*) dan *excess loss* (*Le*).

BAB IV

ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Fabrikasi *Directional Coupler*

Fabrikasi *directional coupler* serat optik plastik dengan konfigurasi 3×3 susunan segitiga menggunakan pendekatan metode *fused biconical tapered* (FBT) dilakukan dengan cara mengupas tiga buah serat optik plastik dengan panjang kupasan 35 mm, 40 mm, 45 mm, 50 mm, 55 mm, dan 60 mm menggunakan alat pengupas *coating* dan *cladding*. Tiga buah serat optik plastik yang telah dikupas kemudian digabungkan (*fused*) dengan menggunakan benang jahit. Penggabungan serat optik plastik tersebut dilakukan pada daerah yang telah dikupas.

Pada penelitian ini, telah difabrikasi enam buah *directional coupler* konfigurasi 3×3 susunan segitiga dengan variasi panjang kupasan 35 mm, 40 mm, 45 mm, 50 mm, 55 mm, dan 60 mm. Hasil fabrikasi diperlihatkan pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1 Hasil Fabrikasi *Directional Coupler* Konfigurasi 3×3
Susunan Segitiga

4.2 Hasil Karakterisasi *Directional Coupler*

Pada proses karakterisasi menggunakan BF5R-D1-N, digunakan dua buah BF5R-D1-N sebagai *input* dan *output*. Sinyal

input dari BF5R-D1-N diberikan pada *port* A1, B1, dan C1 secara bergantian, sementara sinyal *output* pada *port* A2, B2, dan C2 dikarakterisasi dengan BF5R-D1-N yang lain. Selama proses karakterisasi, *display* sensor BF5R-D1-N menampilkan nilai intensitas cahaya yang diterima pada *output* setiap *port*, data nilai intensitas cahaya tersebut disajikan pada lampiran A dengan pengambilan data sebanyak 20 kali. Sedangkan nilai rata-ratanya disajikan pada tabel berikut:

Tabel 4.1 Data Hasil Karakterisasi *Directional Coupler* dengan Sinyal *Input* pada *Port* A1

Panjang Kupasan (mm)	<i>Output</i> (au)			Balik (au)	
	A2	B2	C2	B1	C1
35	1157,05	495,00	420,15	83	73
40	1034,65	430,25	352,10	80	72
45	734,5	247,95	243,20	105	116
50	844,8	129,30	166,65	50	57
55	1022,70	274,70	450,35	41	67
60	1077,45	308,15	312,15	77	65

Tabel 4.2 Data Hasil Karakterisasi *Directional Coupler* dengan Sinyal *Input* pada *Port* B1

Panjang Kupasan (mm)	<i>Output</i> (au)			Balik (au)	
	A2	B2	C2	A1	C1
35	633,05	1227,10	457,80	75	63
40	414,10	1020,70	342,25	77	74
45	301,70	946,75	294,75	11	124
50	283,00	692,60	293,30	37	12
55	289,80	1028,45	420,15	52	11
60	334,15	1056,00	324,60	70	10

Tabel 4.3 Data Hasil Karakterisasi *Directional Coupler* dengan Sinyal *Input* pada *Port C1*

Panjang Kupasan (mm)	<i>Output</i> (au)			Balik (au)	
	A2	B2	C2	A1	B1
35	481,90	429,50	1020,55	53	55
40	353,15	330,75	960,4	71	77
45	301,80	300,15	943,7	138	174
50	270,60	247,75	1002,50	41	76
55	312,20	265,25	1182,25	54	35
60	340,85	320,30	1145,10	47	29

Nilai prosentase *output* dari *directional coupler* pada masing-masing variasi panjang kupasan ditunjukkan pada tabel berikut:

Tabel 4.4 Prosentase *Output Directional Coupler* dengan Sinyal *Input* pada *Port A1*

Panjang Kupasan (mm)	<i>Output</i> (au)			Balik (au)		<i>Loss</i> (%)
	A2 (%)	B2 (%)	C2 (%)	B1 (%)	C1 (%)	
35	15,82	6,77	5,74	1,13	1,00	69,54
40	14,14	5,88	4,81	1,09	0,98	73,08
45	10,04	3,39	3,32	1,44	1,59	80,22
50	11,55	1,77	2,28	0,68	0,78	82,94
55	13,98	3,76	6,16	0,56	0,92	74,63
60	14,73	4,21	4,27	1,05	0,89	74,85

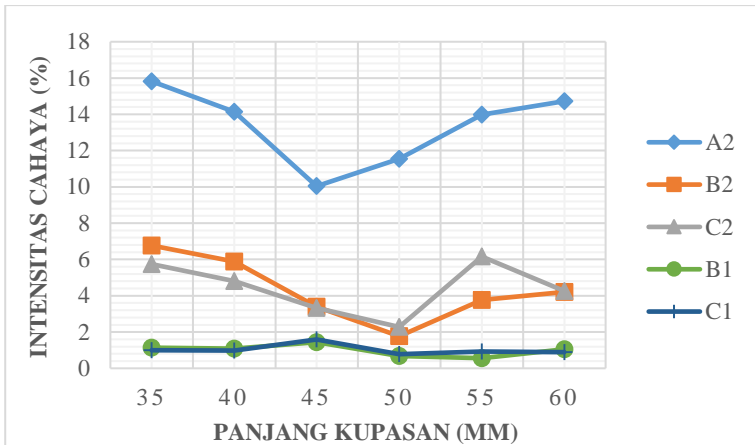
Tabel 4.5 Prosentase *Output Directional Coupler* dengan Sinyal *Input* pada *Port B1*

Panjang Kupasan (mm)	<i>Output</i> (au)			Balik (au)		<i>Loss</i> (%)
	A2 (%)	B2 (%)	C2 (%)	A1 (%)	C1 (%)	
35	8,65	16,78	6,26	1,03	0,86	66,43
40	5,66	13,95	4,68	1,05	1,01	73,64
45	4,12	12,94	4,03	0,15	1,70	77,06
50	3,87	9,47	4,01	0,51	0,16	82,05
55	3,96	14,06	5,74	0,71	0,15	75,37
60	4,57	14,44	4,44	0,96	0,14	75,46

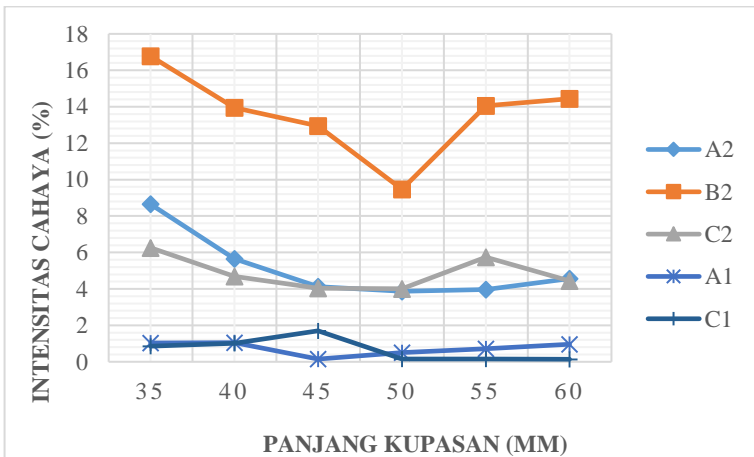
Tabel 4.6 Prosentase *Output Directional Coupler* dengan Sinyal *Input* pada *Port C1*

Panjang Kupasan (mm)	<i>Output</i> (au)			Balik (au)		<i>Loss</i> (%)
	A2 (%)	B2 (%)	C2 (%)	A1 (%)	B1 (%)	
35	6,59	5,87	13,95	0,72	0,75	72,11
40	4,83	4,52	13,13	0,97	1,05	75,50
45	4,13	4,10	12,90	1,89	2,38	74,60
50	3,70	3,39	13,70	0,56	1,04	77,61
55	4,27	3,63	16,16	0,74	0,48	74,72
60	4,66	4,38	15,65	0,64	0,40	74,27

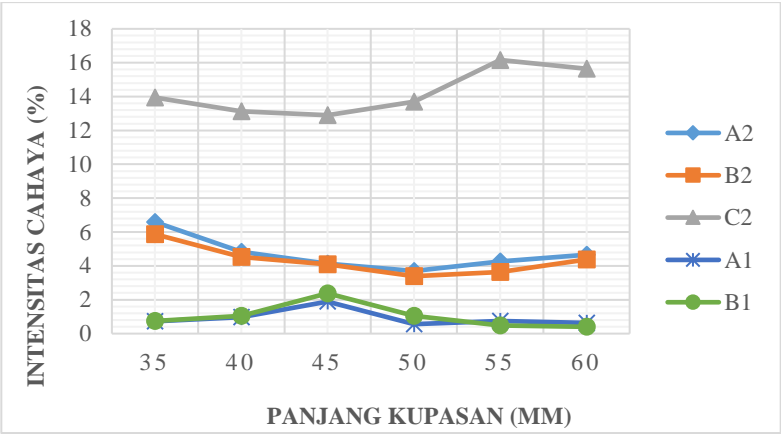
Data pada Tabel 4.4, Tabel 4.5, dan Tabel 4.6 di atas dapat disajikan dalam bentuk grafik hubungan intensitas cahaya yang diterima oleh *output* pada setiap *port input* dengan variasi panjang kupasan yang dapat dilihat pada Gambar 4.2, Gambar 4.3, dan Gambar 4.4 sebagai berikut:



Gambar 4.2 Grafik Pengaruh Panjang Kupasan Terhadap Prosentase Intensitas Cahaya pada Tiap *Output* dengan *Port A1* Sebagai Sinyal *Input*



Gambar 4.3 Grafik Pengaruh Panjang Kupasan Terhadap Prosentase Intensitas Cahaya pada Tiap *Output* dengan *Port B1* Sebagai Sinyal *Input*



Gambar 4.4 Grafik Pengaruh Panjang Kupasan Terhadap Prosentase Intensitas Cahaya pada Tiap *Output* dengan *Port C1* Sebagai Sinyal *Input*

Berdasarkan Persamaan (2.17) dan (2.19) dapat diketahui parameter *directional coupler* yang hasilnya ditampilkan pada tabel berikut ini:

Tabel 4.7 Karakteristik *Directional Coupler* dengan Panjang Kupasan 35 mm

<i>Input</i>	<i>CR</i>	<i>Le</i> (dB)
A1	0,56	-5,48
	0,24	
	0,20	
B1	0,27	-4,99
	0,53	
	0,20	
C1	0,25	-5,79
	0,22	
	0,53	

Tabel 4.8 Karakteristik *Directional Coupler* dengan Panjang Kupasan 40 mm

<i>Input</i>	<i>CR</i>	<i>Le</i> (dB)
A1	0,57	-6,05
	0,24	
	0,19	
B1	0,23	-6,15
	0,57	
	0,20	
C1	0,21	-6,48
	0,21	
	0,58	

Tabel 4.9 Karakteristik *Directional Coupler* dengan Panjang Kupasan 45 mm

<i>Input</i>	<i>CR</i>	<i>Le</i> (dB)
A1	0,60	-7,76
	0,20	
	0,20	
B1	0,20	-6,76
	0,60	
	0,20	
C1	0,20	-6,75
	0,19	
	0,61	

Tabel 4.10 Karakteristik *Directional Coupler* dengan Panjang Kupasan 50 mm

<i>Input</i>	<i>CR</i>	<i>Le</i> (dB)
A1	0,74	-8,07
	0,11	
	0,15	
B1	0,22	-7,61
	0,55	
	0,23	
C1	0,18	-6,82
	0,16	
	0,66	

Tabel 4.11 Karakteristik *Directional Coupler* dengan Panjang Kupasan 55 mm

<i>Input</i>	<i>CR</i>	<i>Le</i> (dB)
A1	0,58	-6,22
	0,16	
	0,26	
B1	0,17	-6,24
	0,59	
	0,24	
C1	0,18	-6,19
	0,15	
	0,67	

Tabel 4.12 Karakteristik *Directional Coupler* dengan Panjang Kupasan 60 mm

<i>Input</i>	<i>CR</i>	<i>Le</i> (dB)
A1	0,64	-6,34
	0,18	
	0,18	
B1	0,19	-6,30
	0,62	
	0,19	
C1	0,19	-6,07
	0,18	
	0,63	

4.3 Pembahasan

Pada penelitian ini fabrikasi *directional coupler* konfigurasi 3×3 digandeng dengan susunan segitiga. Pada proses fabrikasi *directional coupler* konfigurasi 3×3 susunan segitiga, ketiga serat optik dikupas seluruh sisinya pada bagian *coating* hingga menyisakan bagian *cladding*, kemudian dilanjutkan dengan dilakukan pemolesan menggunakan ampelas dengan ukuran *mesh* 360, 1200, 1500, dan 2000 hingga menyisakan bagian *core* dari serat optik tersebut. Pengupasan hanya dilakukan pada daerah kopling dengan variasi panjang kupasan 35 mm, 40 mm, 45 mm, 50 mm, 55 mm, dan 60 mm. Intensitas cahaya dari serat optik *input* yang melewati tepi serat optik akan menjalar atau berpindah ke serat optik di sampingnya sehingga intensitas antara keduanya tidak jauh berbeda. Walaupun ketiga serat optik dikupas seluruh bagian, namun intensitas cahaya yang melewatinya berbeda. Hal ini dikarenakan cahaya yang terpandu di dalam serat optik lebih dominan melewati sumbu serat optik daripada melewati tepinya. Selain itu, faktor ketebalan serat optik sangat berpengaruh pada *directional coupler* susunan segitiga ini karena seluruh sisi serat optik dikupas dan hanya tersisa bagian *core* saja dan proses

pemolesan tidak sama antara serat optik satu dengan lainnya. Hal ini mengakibatkan acuan untuk mendapatkan bagian *core* juga berbeda antara satu dengan lainnya. Proses pengupasan seperti ini juga berpengaruh terhadap penjalaran cahaya di dalamnya karena pada tahap penggandengan ketiga serat optik hanya digandeng dengan menggunakan benang jahit. Sehingga pemantulan dalam total belum dapat terjadi secara sempurna, dikarenakan tidak ada pengganti bagian *cladding* pada daerah selain kopling yang digandeng. Sehingga intensitas cahaya yang melewati *port input* lebih banyak daripada dua *port* yang lain, seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4.1, Tabel 4.2, dan Tabel 4.3. Jika diperhatikan dengan seksama, pada panjang kupasan 45 mm, intensitas cahaya pada dua *port* keluaran yang bukan *port* masukan serat optik hampir bernilai sama.

Gambar 4.2, Gambar 4.3, dan Gambar 4.4 dapat menjelaskan prosentase pembagian atau penjalaran cahaya pada setiap *port* keluaran untuk seluruh panjang kupasan. Pada Gambar 4.2, *port* A2 memiliki intensitas yang jauh lebih tinggi daripada *port* B2 dan C2. Hal ini dikarenakan susunan *directional coupler* yang berbentuk segitiga. Ketika diberikan *input* pada *port* A1, maka cahaya akan cenderung melewati sumbu serat optik A2. Sedangkan cahaya yang berpindah ke *port* B2 dan C2 memiliki intensitas dengan selisih yang jauh dari intensitas *port* A2. Hal ini dikarenakan adanya celah kosong atau *gap* yang berada di tengah kopling. Selain itu, pengupasan yang belum rata juga mempengaruhi kecilnya intensitas yang diterima oleh *port output*. Untuk mengetahui rata atau tidaknya kupasan serat optik, maka dilakukan pengamatan menggunakan *stereo microscope* dengan menyinari serat optik dengan laser. Daerah yang masih berwarna hitam menunjukkan bahwa serat optik masih belum terkupas dengan rata seperti pada Gambar 3.7.

Serat optik dikupas pada bagian *coating* dan *cladding* hingga tersisa bagian *core* saja. Bagian *core* yang terkupas ini digabung dengan *core* serat optik lainnya, sehingga *gap* atau celah antar *core* yang terbentuk besar karena pada bagian tengah kopling susunan

segitiga ini terdapat daerah yang kosong atau *gap*. Jika dilihat dari penjalaran cahaya, *directional coupler* susunan segitiga ini memiliki lebar lintasan perambatan cahaya yang sama. Misalnya pada *directional coupler* dengan panjang kupasan 45 mm dengan *port input* A1, maka cahaya dari *port input* A1 akan berpindah ke dua sisi *port output* yang lain, B2 dan C2 secara hampir sama. Sedangkan pada *port output* A2 memiliki intensitas yang jauh lebih tinggi daripada *port* B2 dan C2. Hal ini dikarenakan pada daerah kupasan yang digabung terjadi kebocoran gelombang, yaitu moda orde tinggi pada serat optik yang satu berpindah ke serat optik yang lainnya, sedangkan moda orde rendah tetap terpandu pada serat optik awal. Proses perpindahan daya gelombang optik ini sesuai dengan teori moda terkopel. Kebocoran gelombang semakin besar apabila melewati daerah *bending* yang terdapat pada ujung-ujung daerah kupasan, sehingga daya gelombang optik yang dipindahkan ke serat optik lainnya lebih besar. Kebocoran gelombang juga bertambah besar seiring dengan bertambahnya panjang kupasan. Semakin besar panjang kupasan, maka nilai intensitas cahaya akan semakin kecil yang berarti bahwa rugi daya semakin bertambah besar.

Faktor lain yang menyebabkan rugi daya yang besar adalah daerah antar *core* yang berinteraksi langsung di dalam *directional coupler* lebih kecil daripada daerah yang berinteraksi langsung dengan benang jahit. Hal ini menyebabkan sebagian besar intensitas cahaya diserap oleh benang jahit atau terhambur keluar melewati celah-celah benang jahit. Selain itu, pemantulan dalam total yang terjadi di dalam *directional coupler* juga belum terjadi secara sempurna sehingga masih terdapat cahaya yang terhambur keluar. Hal ini terjadi pada saat pemasangan serat optik pada BF5R-D1-N kurang tepat pada saat dilakukan karakterisasi. Pemasangan serat optik pada BF5R-D1-N yang kurang tepat mengakibatkan sudut sinar datang kurang dari sudut kritis yang menyebabkan cahaya tidak hanya dipantulkan, melainkan juga dibiaskan keluar dari *directional coupler*. Diharapkan pada

penelitian selanjutnya digunakan enam buah BF5R-D1-N agar hasil karakterisasi yang diperoleh lebih akurat.

Hasil fabrikasi *directional coupler* konfigurasi 3×3 susunan segitiga memiliki *loss* atau rugi daya yang besar, hal ini dikarenakan bagian *core* juga ikut dikupas sehingga *core* tidak lagi berbentuk silinder utuh, melainkan silinder pipih. Proses ini yang menyebabkan rugi daya serat optik cukup besar. Perbedaan nilai intensitas cahaya dapat menyebabkan parameter-parameter *directional coupler* seperti *CR* (*coupling ratio*) dan *Le* (*excess loss*) juga berbeda. Perbedaan nilai-nilai tersebut salah satunya disebabkan oleh ketidaksimetrian sepanjang daerah kupasan dan daerah ujung pengupasan antara ketiga serat optik pada saat proses pengupasan dan penggandengan. Ketidaksimetrian terjadi akibat struktur permukaan serat optik hasil pengupasan yang tidak rata dan ketebalan kupasan yang berbeda serta panjang kupasan yang tidak sama (dalam orde mikro) untuk tiap serat optik yang digandeng. Hal ini dikarenakan daerah kerja pada serat optik dalam orde nano (panjang gelombang), sedangkan fabrikasi yang dilakukan secara konvensional dengan pengukuran menggunakan orde mili.

Prosentase *output directional coupler* yang ditampilkan pada Tabel 4.4, Tabel 4.5, dan Tabel 4.6 dan grafik hubungan panjang kupasan dengan prosentase *output* yang ditunjukkan pada Gambar 4.2, Gambar 4.3, dan Gambar 4.4 memperlihatkan bahwa nilai intensitas cahaya pada *directional coupler* terbagi rata di dua *port* keluaran serat optik yang lain pada panjang kupasan 45 mm. Karakteristik *directional coupler* panjang kupasan 45 mm dengan *input* pada *port* A1 menunjukkan nilai *coupling ratio* *CR* = 0,6; 0,2; 0,2 dan *excess loss* *Le* = -7,76 dB, pada *port* B1 menunjukkan nilai *CR* = 0,2; 0,6; 0,2 dan *Le* = -6,76 dB, pada *port* C1 menunjukkan nilai *CR* = 0,2; 0,19; 0,61 dan *Le* = -6,75 dB. Dari hasil karakterisasi menggunakan BF5R-D1-N, dapat disimpulkan bahwa *directional coupler* konfigurasi 3×3 susunan segitiga pada panjang kupasan 45 mm paling baik digunakan sebagai piranti dalam sensor.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan:

1. Fabrikasi menghasilkan enam buah *directional coupler* konfigurasi 3×3 susunan segitiga dengan panjang kupasan 35 mm, 40 mm, 45 mm, 50 mm, 55 mm, dan 60 mm.
2. Hasil karakterisasi *directional coupler* konfigurasi 3×3 susunan segitiga menggunakan BF5R-D1-N diperoleh bahwa panjang kupasan 45 mm dengan *input* pada *port* A1 menunjukkan nilai *coupling ratio* CR = 0,6; 0,2; 0,2 dan *excess loss* Le = -7,76 dB, pada *port* B1 menunjukkan nilai CR = 0,2; 0,6; 0,2 dan Le = -6,76 dB, pada *port* C1 menunjukkan nilai CR = 0,2; 0,19; 0,61 dan Le = -6,75 dB.
3. *Directional coupler* ini paling baik digunakan sebagai piranti dalam sensor.

5.2 Saran

Dari hasil penulisan Tugas Akhir ini disarankan:

1. Proses pengupasan serat optik menggunakan larutan *acetone* untuk mendapatkan hasil yang lebih rata.
2. Pada *directional coupler* konfigurasi 3×3 susunan segitiga dilakukan pelapisan menggunakan *resin* atau lem *epoxy* pada bagian kopling setelah diikat dengan benang jahit.
3. Pada *directional coupler* konfigurasi 3×3 susunan segitiga dibuat lebih banyak variasi panjang kupasan kurang dari 35 mm dengan selisih yang lebih kecil.
4. Proses fabrikasi *directional coupler* konfigurasi 3×3 susunan segitiga menggunakan metode *heating and pressing* agar memperoleh hasil yang lebih baik dengan daya yang terbagi rata sehingga sangat baik digunakan sebagai piranti dalam sensor.
5. Karakterisasi *directional coupler* konfigurasi 3×3 menggunakan enam buah BF5R-D1-N.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR PUSTAKA

- Crisp, J. 2001. **Introduction to Fiber Optics 2nd Edition**. Oxford: Jordan Hill.
- Crisp, J. dan Elliott, B. 2005. **Introduction to Fiber Optics**. Oxford: Jordan Hill.
- Fang, Zujie, et. all. 2012. **Fundamentals of Optical Fiber Sensors**. New York: John Wiley & Sons.
- Hoss, R. 1993. **Fiber Optics 2nd Edition**. New Jersey: Prentice-Hall.
- Keiser, Gerd. 1984. **Optical Fiber Communication**. New York: McGraw-Hill.
- Keiser, Gerd. 1991. **Optical Fiber Communications 2nd Edition**. New York: McGraw-Hill.
- Krohn, D. A. 2000. **Fiber Optic Sensors: Fundamentals and Applications 3rd**. Pennsylvania State University: Isa.
- Leno, Frank. 1993. **Introduction to Optics 2nd Edition**. United States America: Prentice-Hall.
- Powers, John. 1997. **An Introduction to Fiber Optic Systems 2nd Edition**. New York: McGraw-Hill.
- Pramono, Yono Hadi, dkk. 2008. "Aplikasi *Directional Coupler* Serat Optik sebagai Sensor Pergeseran". **Jurnal Fisika dan Aplikasinya**, Vol. 4 No. 2 Surabaya.
- Samian, dkk. 2008. "Fabrikasi *Directional Coupler* Serat Optik *Multimode*". **Jurnal Fisika dan Aplikasinya**, Vol. 4 No. 2 Surabaya.
- Sekartedjo, dkk. 2007. **Study of Switching Characteristics in Directional Coupler**. International Symposium of Modern Optics and Its Applications (ISMOA), Department of Physics ITB August 6-10 2007, Bandung.
- Supadi, dkk. 2006. "Fabrikasi dan Karakterisasi *Directional Coupler* Sebagai Divais Pembagi Daya". **Jurnal Fisika dan Aplikasinya**, Vol. 2 No. 1 Surabaya.
- Widodo. 1995. *Optoelektronika*. Yogyakarta: Penerbit Andi.

Yaqin, Mohammad Ainul. 2015. **Fabrikasi dan Karakterisasi *Directional Coupler* Konfigurasi 3×3 Planar Berbahan Serat Optik Plastik *Step-Index* Moda Jamak Tipe FD-620-10**. Tugas Akhir, Fisika-FMIPA, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.

LAMPIRAN A
Data Hasil Karakterisasi *Directional Coupler*
Konfigurasi 3×3 Susunan Segitiga Menggunakan BF5R-D1-N

1. Pada *Directional Coupler* dengan Panjang Kupasan 35 mm

No.	<i>Input A1</i>				
	<i>Output (au)</i>			Balik (au)	
	A2	B2	C2	B1	C1
1	1154	492	417	83	73
2	1159	495	420	83	73
3	1160	496	422	83	73
4	1159	495	421	83	73
5	1159	495	423	83	73
6	1155	495	420	83	73
7	1156	497	424	83	73
8	1159	496	421	83	73
9	1156	495	418	83	73
10	1158	493	423	83	73
11	1158	494	421	83	73
12	1158	497	419	83	73
13	1160	494	417	83	73
14	1157	493	421	83	73
15	1156	497	418	83	73
16	1155	493	420	83	73
17	1156	496	419	83	73
18	1154	495	417	83	73
19	1154	497	421	83	73
20	1158	495	421	83	73
Rata-rata	1157,05	495	420,15	83	73

<i>Input B1</i>					
No.	<i>Output (au)</i>			<i>Balik (au)</i>	
	A2	B2	C2	A1	C1
1	631	1223	457	75	63
2	634	1228	458	75	63
3	631	1227	457	75	63
4	632	1227	458	75	63
5	632	1228	458	75	63
6	634	1230	459	75	63
7	635	1229	458	75	63
8	633	1227	457	75	63
9	635	1226	458	75	63
10	631	1230	457	75	63
11	632	1227	458	75	63
12	633	1226	457	75	63
13	631	1226	458	75	63
14	632	1227	458	75	63
15	634	1225	457	75	63
16	635	1227	458	75	63
17	635	1228	457	75	63
18	633	1227	459	75	63
19	634	1226	459	75	63
20	634	1228	458	75	63
Rata-rata	633,05	1227,1	457,8	75	63

<i>Input C1</i>					
No.	<i>Output (au)</i>			<i>Balik (au)</i>	
	A2	B2	C2	A1	B1
1	480	429	1018	53	55
2	481	428	1024	53	55
3	482	430	1021	53	55
4	482	429	1021	53	55
5	482	430	1020	53	55
6	484	431	1018	53	55
7	484	429	1019	53	55
8	481	428	1022	53	55
9	480	428	1023	53	55
10	481	428	1022	53	55
11	482	431	1021	53	55
12	481	429	1021	53	55
13	483	429	1019	53	55
14	481	431	1020	53	55
15	482	429	1022	53	55
16	481	431	1018	53	55
17	482	430	1021	53	55
18	484	429	1021	53	55
19	483	431	1018	53	55
20	482	430	1022	53	55
Rata-rata	481,9	429,5	1020,55	53	55

2. Pada *Directional Coupler* dengan Panjang Kupasan 40 mm

<i>Input A1</i>					
No.	<i>Output (au)</i>			Balik (au)	
	A2	B2	C2	B1	C1
1	1036	428	352	80	72
2	1036	429	352	80	72
3	1037	430	351	80	72
4	1037	428	352	80	72
5	1036	432	353	80	72
6	1032	430	353	80	72
7	1034	431	352	80	72
8	1035	428	352	80	72
9	1033	432	352	80	72
10	1032	431	352	80	72
11	1035	432	352	80	72
12	1036	430	352	80	72
13	1033	429	351	80	72
14	1033	431	353	80	72
15	1035	430	352	80	72
16	1033	431	352	80	72
17	1034	432	352	80	72
18	1037	429	352	80	72
19	1037	431	353	80	72
20	1032	431	352	80	72
Rata-rata	1034,65	430,25	352,1	80	72

<i>Input B1</i>					
No.	<i>Output (au)</i>			<i>Balik (au)</i>	
	A2	B2	C2	A1	C1
1	415	1018	342	77	74
2	412	1023	341	77	74
3	412	1021	343	77	74
4	415	1018	343	77	74
5	416	1018	343	77	74
6	415	1018	341	77	74
7	414	1022	342	77	74
8	413	1020	343	77	74
9	416	1022	342	77	74
10	412	1020	343	77	74
11	415	1019	343	77	74
12	416	1020	342	77	74
13	414	1019	343	77	74
14	413	1022	343	77	74
15	416	1029	342	77	74
16	413	1018	341	77	74
17	416	1022	343	77	74
18	412	1022	341	77	74
19	415	1020	343	77	74
20	412	1023	341	77	74
Rata-rata	414,1	1020,7	342,25	77	74

<i>Input C1</i>					
No.	<i>Output (au)</i>			<i>Balik (au)</i>	
	A2	B2	C2	A1	B1
1	354	331	957	71	77
2	353	330	960	71	77
3	353	330	962	71	77
4	352	331	963	71	77
5	355	332	959	71	77
6	352	332	963	71	77
7	355	330	960	71	77
8	353	332	957	71	77
9	353	330	960	71	77
10	353	331	961	71	77
11	353	332	959	71	77
12	353	331	960	71	77
13	353	330	960	71	77
14	353	331	963	71	77
15	353	331	963	71	77
16	353	330	960	71	77
17	353	330	958	71	77
18	353	331	960	71	77
19	353	330	961	71	77
20	353	330	962	71	77
Rata-rata	353,15	330,75	960,4	71	77

3. Pada *Directional Coupler* dengan Panjang Kupasan 45 mm

No.	<i>Input A1</i>				
	<i>Output (au)</i>			Balik (au)	
	A2	B2	C2	B1	C1
1	733	248	241	105	116
2	735	250	245	105	116
3	736	248	245	105	116
4	732	247	245	105	116
5	734	247	245	105	116
6	735	247	244	105	116
7	735	247	243	105	116
8	732	250	244	105	116
9	736	248	241	105	116
10	733	249	242	105	116
11	736	247	244	105	116
12	734	248	243	105	116
13	735	250	243	105	116
14	736	247	241	105	116
15	735	249	241	105	116
16	735	248	245	105	116
17	734	247	244	105	116
18	732	248	241	105	116
19	736	247	243	105	116
20	736	247	244	105	116
Rata-rata	734,5	247,95	243,2	105	116

<i>Input B1</i>					
No.	<i>Output (au)</i>			<i>Balik (au)</i>	
	A2	B2	C2	A1	C1
1	302	947	292	11	124
2	299	947	294	11	124
3	302	947	294	11	124
4	303	948	293	11	124
5	302	946	294	11	124
6	304	945	295	11	124
7	303	948	298	11	124
8	300	948	292	11	124
9	303	948	296	11	124
10	302	947	294	11	124
11	299	946	298	11	124
12	303	946	295	11	124
13	302	948	298	11	124
14	303	947	294	11	124
15	303	945	296	11	124
16	302	947	295	11	124
17	302	946	296	11	124
18	301	945	294	11	124
19	300	948	295	11	124
20	299	946	292	11	124
Rata-rata	301,7	946,75	294,75	11	124

<i>Input C1</i>					
No.	<i>Output (au)</i>			Balik (au)	
	A2	B2	C2	A1	B1
1	300	301	941	138	174
2	301	300	943	138	174
3	302	298	943	138	174
4	300	302	946	138	174
5	302	302	944	138	174
6	303	301	945	138	174
7	304	301	944	138	174
8	300	299	944	138	174
9	301	301	941	138	174
10	302	299	942	138	174
11	304	298	943	138	174
12	301	302	944	138	174
13	300	300	946	138	174
14	301	299	946	138	174
15	304	298	942	138	174
16	301	302	944	138	174
17	303	301	942	138	174
18	302	300	945	138	174
19	302	299	944	138	174
20	303	300	945	138	174
Rata-rata	301,8	300,15	943,7	138	174

4. Pada *Directional Coupler* dengan Panjang Kupasan 50 mm

No.	<i>Input A1</i>				
	<i>Output (au)</i>			Balik (au)	
	A2	B2	C2	B1	C1
1	839	129	166	50	57
2	841	130	167	50	57
3	850	129	166	50	57
4	848	130	167	50	57
5	848	130	166	50	57
6	849	129	167	50	57
7	841	129	167	50	57
8	848	130	167	50	57
9	841	129	167	50	57
10	848	129	167	50	57
11	846	129	167	50	57
12	841	130	167	50	57
13	843	129	166	50	57
14	841	130	167	50	57
15	849	129	167	50	57
16	843	129	166	50	57
17	841	129	167	50	57
18	847	129	166	50	57
19	843	129	167	50	57
20	849	129	166	50	57
Rata-rata	844,8	129,3	166,65	50	57

<i>Input B1</i>					
No.	<i>Output (au)</i>			Balik (au)	
	A2	B2	C2	A1	C1
1	284	691	294	37	12
2	285	694	292	37	12
3	281	692	294	37	12
4	285	691	293	37	12
5	283	693	294	37	12
6	283	692	292	37	12
7	284	693	294	37	12
8	283	694	294	37	12
9	284	694	292	37	12
10	281	693	292	37	12
11	282	692	294	37	12
12	281	694	292	37	12
13	285	692	293	37	12
14	284	691	294	37	12
15	282	694	294	37	12
16	283	691	294	37	12
17	284	692	292	37	12
18	281	694	294	37	12
19	283	694	294	37	12
20	282	691	294	37	12
Rata-rata	283	692,6	293,3	37	12

<i>Input C1</i>					
No.	<i>Output (au)</i>			<i>Balik (au)</i>	
	A2	B2	C2	A1	B1
1	269	245	1002	41	76
2	269	246	1002	41	76
3	270	248	1002	41	76
4	269	248	1004	41	76
5	271	251	1001	41	76
6	271	250	1001	41	76
7	270	248	1002	41	76
8	271	247	1004	41	76
9	271	245	1001	41	76
10	271	249	1003	41	76
11	271	248	1004	41	76
12	271	246	1003	41	76
13	271	248	1003	41	76
14	271	247	1001	41	76
15	271	251	1002	41	76
16	271	247	1003	41	76
17	271	250	1002	41	76
18	271	249	1004	41	76
19	271	245	1002	41	76
20	271	247	1004	41	76
Rata-rata	270,6	247,75	1002,5	41	76

5. Pada *Directional Coupler* dengan Panjang Kupasan 55 mm

No.	<i>Input A1</i>				
	<i>Output (au)</i>			Balik (au)	
	A2	B2	C2	B1	C1
1	1017	274	449	41	67
2	1026	273	452	41	67
3	1022	275	450	41	67
4	1024	274	450	41	67
5	1023	276	451	41	67
6	1021	275	451	41	67
7	1022	275	452	41	67
8	1026	276	451	41	67
9	1021	275	449	41	67
10	1025	274	449	41	67
11	1026	276	450	41	67
12	1020	274	452	41	67
13	1026	273	451	41	67
14	1018	274	450	41	67
15	1024	276	452	41	67
16	1022	275	449	41	67
17	1020	275	449	41	67
18	1025	273	449	41	67
19	1021	276	450	41	67
20	1025	275	451	41	67
Rata-rata	1022,7	274,7	450,35	41	67

<i>Input B1</i>					
No.	<i>Output (au)</i>			<i>Balik (au)</i>	
	A2	B2	C2	A1	C1
1	288	1027	420	52	11
2	289	1031	420	52	11
3	288	1027	420	52	11
4	288	1031	418	52	11
5	290	1026	422	52	11
6	292	1029	421	52	11
7	290	1030	421	52	11
8	291	1029	421	52	11
9	288	1031	420	52	11
10	291	1029	422	52	11
11	289	1026	421	52	11
12	291	1028	420	52	11
13	288	1026	420	52	11
14	292	1028	418	52	11
15	291	1028	419	52	11
16	288	1031	420	52	11
17	291	1031	421	52	11
18	291	1026	420	52	11
19	292	1028	419	52	11
20	288	1027	420	52	11
Rata-rata	289,8	1028,45	420,15	52	11

<i>Input C1</i>					
No.	<i>Output (au)</i>			<i>Balik (au)</i>	
	A2	B2	C2	A1	B1
1	311	264	1176	54	35
2	312	264	1187	54	35
3	312	266	1187	54	35
4	311	265	1184	54	35
5	314	267	1185	54	35
6	312	265	1185	54	35
7	313	266	1186	54	35
8	312	264	1180	54	35
9	312	264	1178	54	35
10	314	265	1183	54	35
11	311	267	1187	54	35
12	311	267	1180	54	35
13	313	265	1182	54	35
14	312	265	1179	54	35
15	311	264	1180	54	35
16	312	267	1179	54	35
17	314	266	1182	54	35
18	312	266	1180	54	35
19	312	264	1187	54	35
20	313	264	1178	54	35
Rata-rata	312,2	265,25	1182,25	54	35

6. Pada *Directional Coupler* dengan Panjang Kupasan 60 mm

No.	<i>Input A1</i>				
	<i>Output (au)</i>			Balik (au)	
	A2	B2	C2	B1	C1
1	1071	306	312	77	65
2	1079	307	313	77	65
3	1080	306	312	77	65
4	1081	309	312	77	65
5	1077	309	313	77	65
6	1080	310	312	77	65
7	1080	307	311	77	65
8	1080	306	312	77	65
9	1076	308	312	77	65
10	1077	306	313	77	65
11	1075	307	312	77	65
12	1076	310	312	77	65
13	1077	310	311	77	65
14	1075	309	312	77	65
15	1078	310	313	77	65
16	1076	307	312	77	65
17	1080	310	313	77	65
18	1080	310	311	77	65
19	1079	309	312	77	65
20	1072	307	313	77	65
Rata-rata	1077,45	308,15	312,15	77	65

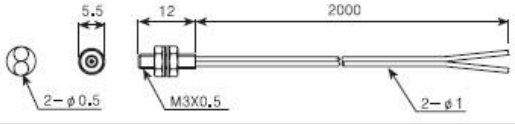
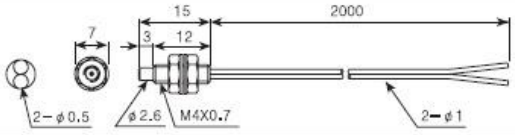
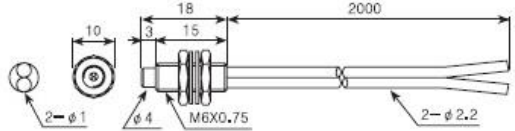
<i>Input B1</i>					
No.	<i>Output (au)</i>			Balik (au)	
	A2	B2	C2	A1	C1
1	333	1059	325	70	10
2	332	1054	324	70	10
3	332	1056	324	70	10
4	333	1058	324	70	10
5	334	1055	326	70	10
6	336	1054	324	70	10
7	336	1053	324	70	10
8	334	1058	324	70	10
9	336	1055	325	70	10
10	335	1057	326	70	10
11	334	1055	324	70	10
12	335	1058	324	70	10
13	334	1055	324	70	10
14	335	1056	324	70	10
15	336	1058	325	70	10
16	333	1056	324	70	10
17	334	1056	326	70	10
18	332	1054	325	70	10
19	335	1057	326	70	10
20	334	1056	324	70	10
Rata-rata	334,15	1056	324,6	70	10

<i>Input C1</i>					
No.	<i>Output (au)</i>			<i>Balik (au)</i>	
	A2	B2	C2	A1	B1
1	339	321	1137	47	29
2	339	320	1147	47	29
3	340	321	1148	47	29
4	343	321	1150	47	29
5	342	319	1141	47	29
6	343	320	1145	47	29
7	340	321	1147	47	29
8	341	321	1143	47	29
9	343	320	1144	47	29
10	339	321	1142	47	29
11	340	319	1148	47	29
12	343	321	1145	47	29
13	342	321	1145	47	29
14	341	320	1146	47	29
15	339	321	1145	47	29
16	342	321	1142	47	29
17	339	319	1149	47	29
18	340	321	1147	47	29
19	339	319	1147	47	29
20	343	319	1144	47	29
Rata-rata	340,85	320,3	1145,1	47	29

LAMPIRAN B
Datasheet Serat Optik Plastik Tipe FD-620-10

Fiber Optic Cable

■ Dimensions

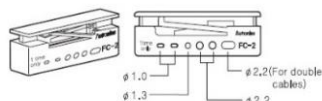
Model	Diffuse reflective
FD-320-05 M3-D0.5 	
FD-620-10 M6-D1.0 	

■ Accessory

○ Fiber cutter

Usage : Free cut type, fiber optic cable cutting

● FC-2



○ Adapter

Adapter :  should be used,



※ Note1)

The inside diameter φ1.0(Standard and black)
The inside diameter φ1.3(Only applied to the receiver of
FD-320-F1 and dark gray.)

(Unit:mm)

encoder

(N) Stepping motor & Driver & Controller

(O) Graphic panel

(P) Production stoppage models & replacement

Autonics

K-96

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BIODATA PENULIS



Penulis berasal dari kota Jombang dan dilahirkan di kota yang sama pada tanggal 21 Agustus 1993. Penulis merupakan anak pertama dari dua bersaudara dan telah menempuh pendidikan formal di MI Al-Karamah Banjaranyar, MTs Al-Ihsan Kalijaring dan MAN Tambakberas Jombang. Penulis diterima di Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam - Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya pada tahun 2012 melalui jalur SNMPTN Tulis dengan mendapatkan beasiswa Bidikmisi dan terdaftar sebagai mahasiswa ITS dengan NRP 1112100042. Selama masa perkuliahan, penulis aktif dalam berbagai kegiatan dan organisasi mahasiswa antara lain sebagai staf BSO 2nd *Physics Summit* HIMASIKA ITS (2013-2014) dan bendahara BSO 3rd *Physics Summit* HIMASIKA ITS (2014-2015). Dalam hal akademik, penulis pernah memegang peran sebagai asisten laboratoriu untuk mata kuliah Fisika Laboratorium bidang Optoelektronika. Akhir kata bila ada kritik dan saran dapat dikirim ke: ningrosianah@gmail.com

“Halaman ini sengaja dikosongkan”